



## Kształtowanie parametrów fizykalnych ścian zewnętrznych i złączy budynków o niskim zużyciu energii

Krzysztof Pawłowski<sup>1</sup>

### STRESZCZENIE:

Osiągnięcie wymagań stawianych budynkom o niskim zużyciu energii jest procesem złożonym, obejmującym zagadnienia w zakresie projektowania architektonicznego, budownictwa ogólnego, fizyki budowli, instalacji budowlanych z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii (OZE). W artykule przedstawiono zasady projektowania elementów obudowy budynku z uwzględnieniem przepływu ciepła w polu jednowymiarowym (1D) i dwuwymiarowym (2D) w aspekcie wymagań cieplno-wilgotnościowych. Określono parametry fizykalne wybranych złączy ścian zewnętrznych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU86 oraz współczynniki przenikania ciepła z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych (2D).

### SŁOWA KLUCZOWE:

parametry fizykalne; budynek o niskim zużyciu energii; ściany zewnętrzne

## 1. Wprowadzenie

Krajowy plan wsparcia [1] zawiera rekomendowaną do stosowania w praktyce krajową definicję: „budynek o niskim zużyciu energii” to taki budynek, który spełnia wymogi związane z oszczędnością energii i izolacyjnością zawarte w przepisach techniczno-użytkowych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy Prawo budowlane [2], tj. w szczególności dział X oraz załącznik 2 do rozporządzenia [3], obowiązujące od 31.12.2020 roku (w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością - od 1 stycznia 2019 r.).

W rozporządzeniu [3] określono m.in. niższe wartości maksymalne współczynnika przenikania ciepła  $U_{c(max)}$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] dotyczące przegród zewnętrznych budynków oraz niższe wartości graniczne wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną  $EP_{(max)}$  [ $kWh/(m^2 \cdot rok)$ ], zmieniające się w okresie 2014-2016, 2017-2020 i po 31.12.2020 roku. Zaostrzeniu uległy wymagania cząstkowe w zakresie izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych, dachów, podłóg oraz okien i drzwi. Ponadto nie ma już znaczenia typ przegrody (wielo- czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenie obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.).

W związku z powyższym istnieje potrzeba przeprowadzenia obliczeń i analiz w zakresie kształtowania parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i złączy budynków o niskim zużyciu energii.

## 2. Charakterystyka budynków o niskim zużyciu energii

Kształtowanie budynku o niskim zużyciu energii obejmuje wiele etapów i czynników, do których należy zaliczyć m.in.: architekturę budynku (usytuowanie budynku względem

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: krzypaw@utp.edu.pl, orcid id: 0000-0002-6738-5764

stron świata, zwarta bryła budynku - minimalny współczynnik kształtu  $A/V$ , wielkość i usytuowanie przegród przezroczystych, rozmieszczenie pomieszczeń, geometria dachu), rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród budowlanych i ich złączy (m.in. stosowanie materiałów wysokiej jakości i nowoczesnych materiałów izolacyjnych), wysoką jakość cieplno-wilgotnościową przegród zewnętrznych i ich złączy, rodzaj i sprawność systemu wentylacji oraz systemu c.o. i c.w.u., zastosowanie odnawialnego źródła energii (OZE), system zarządzania budynkiem, który pozwala również sterować produkcją energii.

Budynek stanowi strukturę przegród budowlanych i ich złączy o indywidualnym charakterze fizykalnym i poddany jest oddziaływaniu środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. W wielu przypadkach analiza przegród i złączy budowlanych w aspekcie konstrukcyjno-materiałowym i technologii wykonania nie budzi zwykle zastrzeżeń na etapie projektowania. Natomiast znajomość parametrów fizykalnych, związanych z wymianą ciepła i wilgoci, pozwala na uniknięcie wielu wad projektowych i wykonawczych.

Podstawowym działaniem technicznym w zakresie kształtowania parametrów fizykalnych elementów obudowy budynku jest dobór materiału termoizolacyjnego do ocieplenia przegród zewnętrznych w nowo projektowanych, jak też modernizowanych budynkach. Współczynnik przenikania ciepła  $U_c$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] jest podstawowym parametrem służącym do sprawdzenia kryterium cieplnego ( $U_c \leq U_{c(max)}$ ). Wraz ze zmieniającymi się wartościami  $U_{c(max)}$  (np. od 31.12.2020 r. dla ścian zewnętrznych, przy  $t_i \geq 16^\circ C$ ,  $U_{c(max)} = 0,20 W/(m^2 \cdot K)$ ) niektóre ich rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe nie spełniają podstawowego kryterium ( $U_c \leq U_{c(max)}$ ). Dlatego zasadne staje się wykonanie szczegółowych obliczeń w tym zakresie.

Niestety, przepisy prawne w tej kwestii nie regulują wymagań w zakresie ograniczenia strat ciepła przez złącza budowlane - mostki cieplne, ponieważ nie określono wartości granicznych np. dotyczących maksymalnych wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_{max}$  [ $W/(m \cdot K)$ ]. Należy podkreślić, że zagadnienia fizyki cieplnej budowli sprowadzają się do analizy cieplnej przegród zewnętrznych budynków, poddanych oddziaływaniom zmiennych w czasie temperatur zewnętrznych i wewnętrznych. W wielu przypadkach rozwiązanie przepływu ciepła sprowadza się do określenia przenikania ciepła przez płaską przegrodę budowlaną w polu jednowymiarowym (1D), bez uwzględnienia przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D). Jednak realnym (rzeczywistym) polem wymiany ciepła jest zazwyczaj przegroda zewnętrzna jako fragment budynku, a więc połączona systemem złączy z przegrodami dowiązującymi (stropem, ścianą zewnętrzną lub wewnętrzną albo podłogą na gruncie). W obrębie przegrody mogą występować miejsca zaburzające jej ciągły charakter - wstawki materiałowe, stolarka okienna i drzwiowa, zmienna grubość izolacji cieplnej. W tych wszystkich przypadkach pojawia się pole temperatur: płaskie (2D) lub przestrzenne (3D), zmieniające istotnie procedurę prowadzenia obliczeń cieplno-wilgotnościowych przegrody.

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń parametrów fizykalnych wybranych złączy ścian zewnętrznych oraz ich współczynników przenikania ciepła z uwzględnieniem przepływów ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) - liniowych mostków cieplnych.

### 3. Parametry fizykalne ścian zewnętrznych i ich wybranych złączy

Kształtowanie układów materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym powinno się opierać na podstawie szczegółowych obliczeń parametrów fizykalnych przy zastosowaniu profesjonalnych programów komputerowych:

- współczynnik przenikania ciepła przegrody w polu jednowymiarowym (1D) -  $U_c$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ],
- strumień ciepła przepływający przez złącze  $\Phi$  [ $W$ ],
- współczynnik sprzężenia cieplnego  $L^{2D}$  [ $W/(m \cdot K)$ ],
- liniowy współczynnik przenikania ciepła  $\Psi$  [ $W/(m \cdot K)$ ]; w przypadku połączenia ściany z oknem określono gałęziowy współczynnik w odniesieniu do ściany zewnętrznej i gałęziowy współczynnik w odniesieniu do okna,

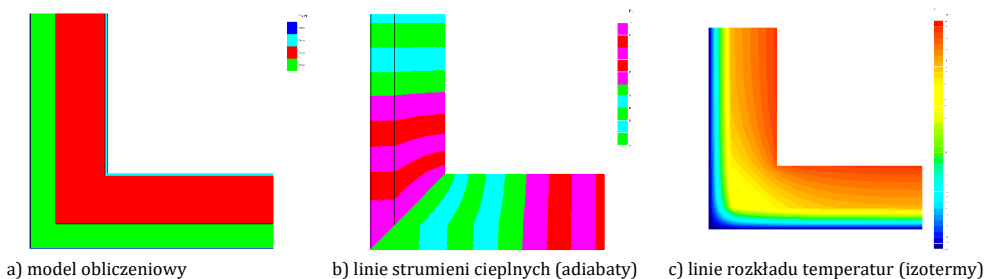
- współczynnik kształtu mostka cieplnego  $K$  [-],
- temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody  $t_{min}$ . [°C],
- czynnik temperaturowy określony na podstawie  $t_{min}$ . [°C] w miejscu liniowego mostka cieplnego (2D)  $f_{Rsi(2D)}$  [-].

Do obliczeń przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU 86 [4], zgodnie z zasadami opisanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [5], przyjęto następujące założenia:

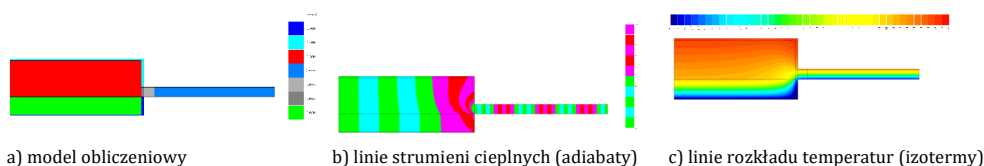
- ściana zewnętrzna dwuwarstwowa o następującym układzie warstw materiałowych: tynk gipsowy gr. 1,5 cm o  $\lambda = 0,40$  W/(m·K), pustak z ceramiki poryzowanej gr. 30 cm o  $\lambda = 0,36$  W/(m·K), materiał termoizolacyjny gr. 10 cm: wełna mineralna o  $\lambda = 0,040$  W/(m·K), styropian EPS o  $\lambda = 0,036$  W/(m·K), styropian grafitowy o  $\lambda = 0,031$  W/(m·K), płyty z pianki poliuretanowej o  $\lambda = 0,022$  W/(m·K), tynk cienkowarstwowy gr. 0,5 cm o  $\lambda = 0,76$  W/(m·K),
- stolarka okienna (okno) o współczynniku przenikania ciepła  $U_w = 0,809$  W/(m<sup>2</sup>·K),
- opory przejmowania ciepła ( $R_{si}$ ,  $R_{se}$ ) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [6] przy obliczeniach strumieni ciepłych oraz wg PN-EN ISO 13788:2003 [7] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego  $f_{Rsi(2D)}$ ,
- temperatura powietrza wewnętrznego  $t_i = 20^\circ\text{C}$  (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego  $t_e = -20^\circ\text{C}$  (III strefa).

Na rysunkach 1-3 zaprezentowano modele obliczeniowe oraz graficzne wyniki symulacji komputerowej.

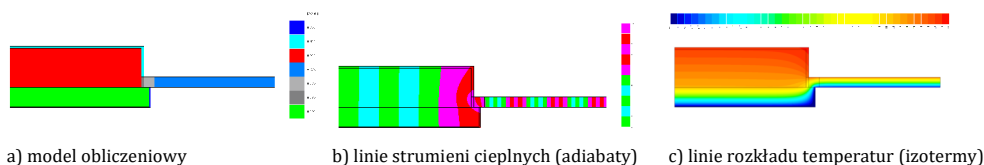
Procedury obliczeniowe parametrów fizycznych przedstawiono m.in. w pracy [8], a wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.



**Rys. 1.** Model obliczeniowy oraz wyniki symulacji komputerowej narożnika ścian zewnętrznych - opracowanie własne



**Rys. 2.** Model obliczeniowy oraz wyniki symulacji komputerowej połączenia ściany zewnętrznej z oknem (bez węgarka) - opracowanie własne



**Rys. 3.** Model obliczeniowy oraz wyniki symulacji komputerowej połączenia ściany zewnętrznej z oknem (z węgarkiem) - opracowanie własne

**Tabela 1**

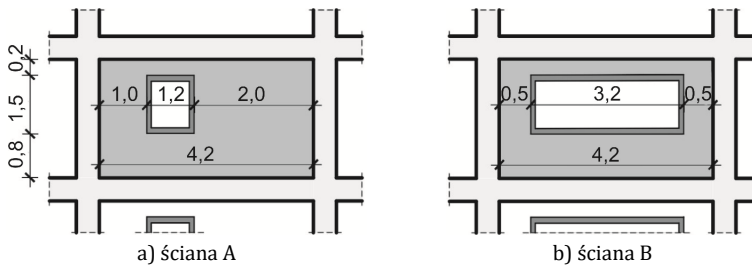
Wyniki obliczeń parametrów fizycznych wybranych złączy ścian zewnętrznych  
- opracowanie własne

Parametry fizyczne	$U_c$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$\Phi$ [W]	$L^{2D}$ [W/(m·K)]	$\Psi_i$ [W/(m·K)]	$K$ [-]	$t_{min.}$ [°C]	$f_{Rsi(2D)}$ [-]
warianty							
Narożnik ścian zewnętrznych /zróżnicowane materiały termoizolacyjne/							
N1 /0,040/	0,208	20,79	0,520	0,103	1,247	15,05	0,876
N2 /0,036/	0,192	19,24	0,481	0,097	1,252	15,38	0,884
N3 /0,031/	0,170	17,18	0,430	0,090	1,265	15,82	0,896
N4 /0,022/	0,127	13,06	0,327	0,072	1,283	16,75	0,919
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem - bez węgarka /zróżnicowane materiały termoizolacyjne/							
O1 /0,040/	0,208 0,809	44,34	1,109	0,085	1,083	13,16	0,829
		12,55 <sup>1)</sup> 31,79 <sup>2)</sup>	0,314 <sup>3)</sup> 0,795 <sup>4)</sup>	0,105 <sup>5)</sup> -0,020 <sup>6)</sup>			
O2 /0,036/	0,192 0,809	43,69	1,092	0,086	1,085	13,29	0,832
		11,90 <sup>1)</sup> 31,79 <sup>2)</sup>	0,297 <sup>3)</sup> 0,795 <sup>4)</sup>	0,106 <sup>5)</sup> -0,020 <sup>6)</sup>			
O3 /0,031/	0,170 0,809	42,83	1,071	0,086	1,087	13,47	0,837
		11,05 <sup>1)</sup> 31,78 <sup>2)</sup>	0,276 <sup>3)</sup> 0,795 <sup>4)</sup>	0,106 <sup>5)</sup> - 0,020 <sup>6)</sup>			
O4 /0,022/	0,127 0,809	41,17	1,029	0,087	1,092	13,80	0,845
		9,40 <sup>1)</sup> 31,77 <sup>2)</sup>	0,235 <sup>3)</sup> 0,794 <sup>4)</sup>	0,108 <sup>5)</sup> -0,021 <sup>6)</sup>			
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem - z węgarkiem /zróżnicowane materiały termoizolacyjne/							
O5 /0,040/	0,208 0,147 0,809	41,45	1,036	0,049	1,049	15,72	0,893
		10,02 <sup>1)</sup> 31,42 <sup>2)</sup>	0,251 <sup>3)</sup> 0,785 <sup>4)</sup>	0,043 <sup>5)</sup> 0,006 <sup>6)</sup>			
O6 /0,036/	0,192 0,139 0,809	40,72	1,018	0,048	1,049	15,93	0,895
		9,31 <sup>1)</sup> 31,41 <sup>2)</sup>	0,233 <sup>3)</sup> 0,785 <sup>4)</sup>	0,042 <sup>5)</sup> 0,006 <sup>6)</sup>			
O7 /0,031/	0,170 0,127 0,809	39,76	0,994	0,047	1,049	16,19	0,905
		8,37 <sup>1)</sup> 31,39 <sup>2)</sup>	0,209 <sup>3)</sup> 0,785 <sup>4)</sup>	0,039 <sup>5)</sup> 0,008 <sup>6)</sup>			
O8 /0,022/	0,127 0,101 0,809	37,89	0,947	0,045	1,049	16,72	0,918
		6,54 <sup>1)</sup> 31,35 <sup>2)</sup>	0,164 <sup>3)</sup> 0,783 <sup>4)</sup>	0,037 <sup>5)</sup> 0,008 <sup>6)</sup>			
<sup>1)</sup> strumień ciepła przepływający przez ścianę zewnętrzną <sup>2)</sup> strumień ciepła przepływający przez stolarkę okienną <sup>3)</sup> współczynnik sprzężenia cieplnego w odniesieniu do ściany zewnętrznej <sup>4)</sup> współczynnik sprzężenia cieplnego w odniesieniu do stolarki okiennej <sup>5)</sup> gałęziowy współczynnik przenikania ciepła w odniesieniu do ściany zewnętrznej <sup>6)</sup> gałęziowy współczynnik przenikania ciepła w odniesieniu do stolarki okiennej							

Wartości parametrów fizycznych złączy ściany zewnętrznej zależą od rodzaju materiału termoizolacyjnego ( $\lambda$  [W/(m·K)]) oraz ukształtowania warstw materiałowych. Każde połączenie dwóch zróżnicowanych przegród generuje dodatkowe straty ciepła w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi$  [W/(m·K)] lub współczynnika kształtu mostka cieplnego  $K$  [-] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody. W przypadku połączenia ściany zewnętrznej z oknem przedłużenie warstwy izolacji cieplnej powoduje ograniczenie dodatkowych strat ciepła oraz minimalizuje ryzyko występowania kondensacji powierzchniowej (tab. 1).

Znając parametry fizyczne złączy, istnieje możliwość określenia współczynnika przenikania ciepła z uwzględnieniem liniowych mostków ciepła dla dwóch wariantów ścian zewnętrznych (przy zróżnicowanej powierzchni okna) - rysunek 4. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z własnym algorytmem prezentowanym w pracy [9].

Do obliczeń strat ciepła  $H_{D(\dot{s}c.)}$  zastosowano wartości gałęziowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_{\dot{s}c.}$ , natomiast w przypadku strat ciepła przez okno  $H_{D(o.)}$  konsekwentnie  $\Psi_o.$  (wariant z węgarciem okiennym). Taki sposób obliczeń pozwala na miarodajne określenie przepływu ciepła z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych przez pojedynczą przegrodę zewnętrzną budynku. Wyniki obliczeń w tym zakresie zestawiono w tabeli 2.



Rys. 4. Analizowane ściany zewnętrzne budynku - opracowanie własne

Tabela 2

Wyniki obliczeń parametrów cieplnych obudowy budynku - opracowanie własne

Parametry cieplne obudowy budynku								
Obliczenia współczynnika przenikania ciepła ściany zewnętrznej z uwzględnieniem mostków cieplnych $U_{\dot{s}c.(2D)}$								
parametry	ściana A				ściana B			
$A_{\dot{s}c.}$ [m <sup>2</sup> ]	8,70				5,70			
$U_{\dot{s}c.(1D)}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0,208	0,192	0,170	0,127	0,208	0,192	0,170	0,127
$A_{\dot{s}c.} \cdot U_{\dot{s}c.(1D)}$ [W/K]	1,810	1,670	1,479	1,105	1,186	1,094	0,969	0,724
$\sum \Psi_{\dot{s}c.} \cdot l_i$ [W/K]	0,232	0,227	0,211	0,200	0,404	0,395	0,367	0,348
$H_{D(\dot{s}c.)} = A_{\dot{s}c.} \cdot U_{\dot{s}c.(1D)} + \sum \Psi_{\dot{s}c.} \cdot l_i$ [W/K]	2,042	1,897	1,690	1,305	1,590	1,489	1,336	1,072
$U_{\dot{s}c.(2D)} = H_{D(\dot{s}c.)}/A$ [W/K]	0,234	0,218	0,194	0,150	0,279	0,261	0,234	0,188
Obliczenia współczynnika przenikania ciepła okna z uwzględnieniem mostków cieplnych $U_{o.(2D)}$								
$A_o.$ [m <sup>2</sup> ]	1,80				4,80			
$U_{o.(1D)}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0,809				0,809			
$A_o. \cdot U_{o.(1D)}$ [W/K]	1,456				3,883			
$\sum \Psi_o. \cdot l_i$ [W/K]	0,032	0,032	0,043	0,043	0,056	0,056	0,075	0,075
$H_{D(o.)} = A_o. \cdot U_{o.(1D)} + \sum \Psi_o. \cdot l_i$ [W/K]	1,488	1,488	1,499	1,499	3,939	3,939	3,958	3,958
$U_{o.(2D)} = H_{D(o.)}/A$ [W/K]	0,827	0,827	0,833	0,833	0,821	0,821	0,824	0,824
$A_{\dot{s}c.}$	- pole powierzchni ściany zewnętrznej [m <sup>2</sup> ],							
$U_{\dot{s}c.(1D)}$	- współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej w polu (1D) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]							
$A_{\dot{s}c.} \cdot U_{\dot{s}c.(1D)}$	- straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną w polu (1D) [W/K]							
$\sum \Psi_{\dot{s}c.} \cdot l_i$	- wpływ liniowych mostków cieplnych (2D) na całkowite straty ciepła przez ścianę [W/K]							
$H_{D(\dot{s}c.)}$	- współczynnik strat ciepła przez ścianę z uwzględnieniem przepływu ciepła w polu (1D i 2D) [W/K]							
$A_o.$	- pole powierzchni okna [m <sup>2</sup> ],							
$U_{o.(1D)}$	- współczynnik przenikania ciepła okna w polu (1D) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]							
$A_o. \cdot U_{o.(1D)}$	- straty ciepła przez pełną okno w polu (1D) [W/K]							
$\sum \Psi_o. \cdot l_i$	- wpływ liniowych mostków cieplnych (2D) na całkowite straty ciepła przez okno [W/K]							
$H_{D(o.)}$	- współczynnik strat ciepła przez okno z uwzględnieniem przepływu ciepła w polu (1D i 2D) [W/K]							

Miarodajne określenie strat ciepła przez przenikanie obudowy budynku ( $U_{sc.(2D)}$ ,  $H_{D(śc.)}$ ,  $U_{o.(2D)}$ ,  $H_{D(o.)}$ ) powinno uwzględniać dodatkowe straty ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi$  [W/(m·K)] - tabela 2. Wyznaczenie gałęziowych współczynników przenikania ciepła (osobno w odniesieniu do ściany zewnętrznej  $\Psi_{sc.}$  i w odniesieniu do okna  $\Psi_{o.}$ ) pozwala na identyfikację dodatkowych strat ciepła dla pojedynczych przegród. Należy zauważyć, że po uwzględnieniu wpływu mostków cieplnych na styku ściana zewnętrzna - okno wartości współczynników przenikania ciepła  $U_{sc.(2D)}$ ,  $U_{o.(2D)}$  są znacznie wyższe niż wartości w polu jednowymiarowym (1D) - tabela 2.

#### 4. Wnioski

Kształtowanie parametrów fizykalnych elementów obudowy budynków o niskim zużyciu energii powinno opierać się na szczegółowych obliczeniach numerycznych z uwzględnieniem zmiennych parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego.

Obniżanie wartości granicznych współczynników przenikania ciepła  $U_{c(max)}$  bez uwzględnienia przepływów ciepła w polu (2D) i (3D), czyli mostków cieplnych, powoduje rzeczywiste dopuszczenie większych strat ciepła przez przegrody budowlane i ich złącza. Ponadto zasadne staje się określenie wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_{max}$  na poziomie 0,05÷0,10 W/(m·K) w zależności od specyfiki analizowanego złącza. Ponadto sformułowanie wartości granicznych wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową EU [kWh/(m<sup>2</sup>·rok)] ograniczy także negatywny wpływ strat w miejscu występowania mostków cieplnych.

Analizując złącza ścian zewnętrznych (tab. 1), można stwierdzić, że nie występuje ryzyko kondensacji powierzchniowej pary wodnej, ponieważ obliczone wartości czynników temperaturowych  $f_{Rsi(2D)}$  [-] są większe od wartości granicznej czynnika temperaturowego  $f_{Rsi, (kryt.)}$  [-]. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, przy uwzględnieniu parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych wynosi  $f_{Rsi, (kryt.)} = 0,785$  [8]. W rozporządzeniu [3], mimo uznania normy PN-EN ISO 13788 [7] za obowiązującą w projektowaniu, istnieje odstępstwo od jej wymagań, polegające na przyjęciu średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w stałej wartości  $\varphi_i = 0,50$  (50%) (punkt 2.2.2 Załącznika nr 2 [3]) dla pomieszczeń z temperaturą wewnętrzną równą co najmniej 20°C. Równocześnie dopuszczono (bez obliczeń) dla tych pomieszczeń przyjmowanie wartości czynnika  $f_{Rsi(kryt.)} = 0,72$ , co praktycznie oznacza rezygnację z ustalania klas wilgotności pomieszczeń zaopatrzonych w wentylację grawitacyjną.

#### Literatura

- [1] Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
- [2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane, Dz.U. 2013, poz. 1409 z późn. zm.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2017, poz. 2285.
- [4] Program komputerowy TRISCO-KOBRU 86, PHYSIBEL c.V, Belgia.
- [5] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [6] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [7] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.
- [8] Pawłowski K., Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków, Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy, Grupa Medium, Warszawa 2016.
- [9] Pawłowski K., Walczak S., Analiza parametrów fizykalnych w ocenie jakości cieplnej elementów budynków niskoenergetycznych, Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury 2026, XXXIII, 63(1/1), 26-39.

## **Determining the physical parameters of external walls and joints in buildings with low energy consumption**

### **ABSTRACT:**

Achieving the requirements for buildings with low energy consumption is a complex process covering issues in the field of architectural design, general construction, building physics, and construction installations using renewable energy sources (RES). The article presents the principles of designing the exterior wall elements, taking into account the heat flow in the one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) field in terms of heat and humidity requirements. The physical parameters of selected joints of external walls were determined using TRISCO-KOBRU86 computer program and heat transfer coefficients including linear thermal bridges (2D).

### **KEYWORDS:**

physical parameters; building with low energy consumption; external walls